



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 11 320 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 02 D 13/00**  
F 01 L 1/34

②1 Aktenzeichen: 195 11 320.9  
②2 Anmeldetag: 28. 3. 95  
④3 Offenlegungstag: 19. 10. 95

DE 195 11 320 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
14.04.94 US 227825

⑦1 Anmelder:  
Ford-Werke AG, 50735 Köln, DE

⑦4 Vertreter:  
Bonsmann, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 41063  
Mönchengladbach

⑦2 Erfinder:  
Schechter, Michael M., Farmington Hills, Mich., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Ventilsteuerung in einem Mehrzylinder-Verbrennungsmotor

⑤7 Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ventilsteuerung in einem Mehrzylinder-Verbrennungsmotor beschrieben, wobei jedes der sich hin- und herbewegenden Einlaß- und/oder Auslaßventile hydraulisch gesteuert wird und einen Kolben aufweist, der auf Flächen an beiden Enden des Kolbens einwirkender Fluiddrücke ausgesetzt ist und der mit einer Hochdruckfluidquelle in einem Volumen verbunden ist, während das an dem anderen Ende vorgesehene Volumen mit einer Hochdruckfluidquelle und einer Niederdruckfluidquelle verbunden ist, und der von jeder Druckquelle durch die Wirkung einer Steuereinrichtung, wie z. B. einem Bordrechner, welcher Magnetventile steuert, abtrennbar ist. Die optimale Ansaugluft- und Restgasmenge wird in jedem, die vorgenannte variable Ventilsteuerungsvorrichtung aufweisenden Motorzylinder durch Ansteuerung mit elektrischen Impulsen variabler Dauer und zu variablen Zeitpunkten sichergestellt. Der Impulszeitpunkt und die Dauer werden auf der Basis von in einem Permanentspeicher des Bordrechners gespeicherten Werten berechnet, die einer Information entsprechen, welche von Sensoren und Korrekturwerten aus einem Korrekturspeicher, die einem Rückkopplungssignal anderer Sensoren entsprechen, erhalten werden.

DE 195 11 320 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 95 508 042/621

13/29

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum variablen Steuern von Einlaß- und Auslaßventilen eines Verbrennungsmotors. Insbesondere betrifft sie ein Steuerverfahren und eine Vorrichtung für eine nockenlose Motorventilanordnung zum variablen Steuern des Hubprogramms der Motorventile.

Herkömmliche Automobilverbrennungsmotoren arbeiten mit einer oder mit mehreren Nockenwellen zum Steuern der Motorventile, d. h., der Einlaß- und Auslaßventile, nach einem vorgegebenem Hubprogramm. Mit der mechanischen Struktur ist das Hubprogramm festgelegt. Ein festgelegtes Hubprogramm läßt jedoch kein optimales Motorverhalten zu, da im allgemeinen unterschiedliche Motorbetriebszustände unterschiedliche optimale Hubprogramme erfordern.

Daß eine Verbesserung des Motorverhaltens durch Variieren des Zeitpunktes und des Hubs sowie der Beschleunigungsgeschwindigkeit und der Wegezeit der Einlaß- und Auslaßventile in einem Verbrennungsmotor erzielt werden kann, ist allgemein bekannt. Trotzdem ist die Technologie für die Bereitstellung einer einfachen, relativ preiswerten und hoch zuverlässigen Anordnung nicht vorangekommen. Ein zunehmender Einsatz und zunehmendes Vertrauen in Mikroprozessor-Steuerungssysteme für Automobile und ein zunehmender Einsatz hydraulischer anstelle mechanischer Anordnungen ermöglicht einen deutlichen Fortschritt in der Konstruktion von Motorventilsteuerungen.

Es gibt verschiedene Gründe, warum ein allgemein festgelegtes Hubprogramm nicht optimal ist. Die Steuerung des Gasaustausches in einem herkömmlichen Motor mit nockenbetätigten Ventilen ist nur begrenzt möglich und kann nicht für alle Motorbetriebszustände optimiert werden. Die Steuerung des Gasaustausches in einem nockenlosen Motor unterscheidet sich hiervon grundsätzlich. In einem Motor mit einem herkömmlichen mechanischen Ventilantrieb, mit seiner festen Ventilzeitsteuerung, wird der Ansaugluftstrom durch Luftdrosselung gesteuert, was zu Drosselverlusten führt. Ferner kann der in dem Zylinder verbleibende Restgasanteil nicht durch einen mechanischen Ventilantrieb gesteuert werden, wodurch die Zusetzung eines zu der Ansaugluft zurückgeführten Abgases durch ein externes Abgasrückführungssystem (EGR-System) erforderlich wird, um die Stickoxidemissionen zu reduzieren.

Die letztere Einschränkung betrifft auch Motoren, welche zwischen den Nockenwellen und Motorventilen Leergang-Motorventilanordnungen (lost motion valve systems) aufweisen, da diese noch durch die Inflexibilität einer Nockenwelle eingeschränkt sind. Leergang-Steueranordnungen können den Hubbetrag steuern, sind jedoch bei der Steuerung des Zeitpunktes beim Öffnen und Schließen des Ventils sehr eingeschränkt, womit deren Fähigkeit zur Steuerung des Restgasanteils in einem Zylinder beschränkt ist. Ferner weist eine nockenlose elektrohydraulische Anordnung den Vorteil auf, das dadurch sowohl die Kosten als auch das Gewicht von Nockenwellen entfallen, während eine gesteigerte Flexibilität im Zeitpunkt und in der Öffnungsdauer jedes Motorventils gegeben ist. Im allgemein wird die Variation des Zeitpunktes des Ventilöffnens und -Schließens gegenüber einer ausschließlichen Steuerung des Ventilhubes bevorzugt, um die in einen Zylinder eingesaugte Luftmenge zu bestimmen.

In einem Motor mit einem elektrohydraulischen nok-

kenlosen Ventilantrieb sind die Motorventilvorgänge flexibel. Die Mengen der Ansaugluft und des Restgases in jedem Zylinder können durch Variieren des Zeitpunktes des Öffnens und/oder Schließens der Einlaß- und Auslaßventile gesteuert werden, was die Notwendigkeit einer Luftdrosselung der Ansaugluft und eines externen EGR-Systems erübrigt. Während ein elektrohydraulischer nockenloser Ventilantrieb mehr Flexibilität bietet, können andererseits Nachteile bestehen, welche bei Anordnungen mit mechanischen Nockenwellen nicht auftreten.

Bei aller mit einem mechanischen Ventilantrieb verbundenen Inflexibilität und Ineffektivität weist dieser jedoch einen Hauptvorteil dahingehend auf, daß die Genauigkeit, mit welcher eine Nockenwelle geschliffen werden kann, so ist, daß eine gute Luftverteilung von Zylinder zu Zylinder inhärent sichergestellt ist. Im Falle eines Motors mit einem nockenlosen Ventilantrieb ist eine gleichmäßige Verteilung der Luft und des Restgases über die Zylinder nicht inhärent gegeben. Während eine Leergang-Anordnung keine so große inhärente Streuung wie eine nockenlose Anordnung aufweisen muß, weist sie dennoch aufgrund des Umstandes, daß sie auch von einer mechanischen Nockenwelle angetrieben wird, noch andere Nachteile auf, wie vorstehend ausgeführt.

In einer nockenlosen Ventilantriebsanordnung können anstelle einer Luftdrossel und einer externen Abgasrückführungsanordnung Änderungen im Zeitablauf der Steuerventile dazu verwendet werden, die Menge der Ansaugluft und die Menge des in der Verbrennungskammer zurückgehaltenen Restgases zu steuern. Die Motorventile können durch Steuerventile, wie z. B. Magnetventile elektrisch gesteuert werden, welche auf elektrische Signale eines Bordcomputers reagieren. Um sicherzustellen, daß die Aktionen der Einlaß- und Auslaßventile in allen Zylindern im wesentlichen gleich sind, wird ein im wesentlichen gleiches Verhalten der jeweiligen Steuerventile bei allen Zylindern angestrebt.

Ein nockenloser Ventilantrieb kann sowohl eine geeignete Ansaugluft- als auch Restgasverteilung über die Zylinder in Verbindung mit dem Wegfall der Abgasrückführung erreichen, so daß ein vollständiges Motoroptimierungspaket bereitgestellt wird. Damit entsteht dann die Notwendigkeit, sicherzustellen, daß die Anordnung die Optimierung dauerhaft während des Betriebs erhalten, sowie jede tendenziell in dieser Art von Anordnung inhärente Änderung korrigieren kann.

Der Zeitpunkt und die Dauer der Spannungssignale, welche die Steuerventile aktivieren, können mit großer Genauigkeit und Gleichmäßigkeit gesteuert werden. Leider überträgt sich dieses nicht auf die Gleichmäßigkeit des Steuerventilverhaltens. Individuelle Ventile neigen aufgrund unvermeidbarer kleinerer Unterschiede in ihrer physikalischen Gestalt dazu, unterschiedlich auf identische Spannungssignale zu reagieren. Um ein im wesentlichen gleichmäßiges Verhalten aller Steuerventile zu erzielen, ist ein Satz von Steuersignalen erforderlich, der jeweils individuell auf die Anforderungen des gesteuerten spezifischen Steuerventils zugeschnitten ist.

Diese Steuerung ist erforderlich, um eine im wesentlichen gleichmäßige Verteilung der Ansaugluft und des Restgases von Zylinder zu Zylinder aufgrund dieser inhärenten Variabilität von Steuerventil zu Steuerventil zu erhalten. Zusätzlich kann die Empfindlichkeit gegenüber sich verändernden Umgebungsbedingungen, allmählicher Verschlechterung des Verhaltens der einzelnen Komponenten und der Qualität des Betriebsfluids

weiter zu einer Abweichung von dem erforderlichen Verhalten beitragen.

Das Einengen von Fertigungstoleranzen und die Justierungen nach der Herstellung können die Streuungen von Steuerventil zu Steuerventil reduzieren, aber nicht vollständig beseitigen. Ferner wird dadurch nicht das Problem einer möglichen Veränderung des Steuerventilhaltens und der Betriebsfluidqualität über die Zeit gelöst. Diese inhärente Variabilität erfordert eine nockenlose Ventilantriebsanordnung, welche eine adaptive Steuerungsanordnung aufweist, die kontinuierlich die Ergebnisse von deren Verhalten unter verschiedenen Motorbetriebszuständen überwacht, und welche die Anordnung unter Berücksichtigung der Anordnungstoleranzen, um so eine richtige und gleichmäßige Verteilung der Ansaugluft und der Restgase über alle Zylinder zu allen Zeiten sicherzustellen.

Somit wird die Schaffung einer Steuerung angestrebt, welche die verschiedenen Motorbetriebszustände durch Änderung des Ventilvorgangs jedes Motorventils auf der Basis von in einem Rechnerspeicher abgelegten Werten der erforderlichen Ansaugluft- und Restgasmengen berücksichtigt, und welche eine Rückkopplungsschleife aufweist, welche die tatsächliche Luft- und Restgasmenge unabhängig für jeden Motorzylinder überwacht, um Werte in einem Korrekturspeicher zu erzeugen, welche die Abweichung von den erforderlichen Parametern in jedem Zylinder für die verschiedenen Motorbetriebszustände korrigieren, was zu einer Motoroptimierung bezüglich Kraftstoffausnutzung, Emissionen und Drehmoment, sowie bester Leerlaufqualität führt.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum individuellen Steuern des Öffnens und Schließens der Motorventile in einem Mehrzylinder-Verbrennungsmotor mit einem nockenlosen Ventilantrieb mit variablen Motorventilvorgängen. Das Verfahren umfaßt die Schritte: Erfassen der Kurbelwellendrehwinkelstellung und des Drehzahl- und Motordrehmomentbedarfs und Erzeugen eines entsprechenden Stellungs- und Drehzahlsignals und eines entsprechenden Drehmomentbedarfssignals; Einlesen des Stellungs- und Drehzahlsignals in einen Bordrechner; Ermitteln einer Sollmenge für die Ansaugluft und für das Restgas für jeden Zylinder; weiterhin für jeden Zylinder: Ermitteln eines entsprechenden Nominalwertes für den Zeitpunkt und die Dauer eines entsprechenden Aktivierungssignals, das an jedes von mehreren Hochdruck- und Niederdruckmagnetventilen zu senden ist; Einlesen von Korrekturwerten für den Zeitpunkt des Aktivierungssignals für jedes Niederdruckmagnetventil aus einem Korrekturspeicher in dem Bordrechner; Addieren der Korrekturwerte zu den Nominalwerten des Zeitpunktes für jedes Niederdruckmagnetventil, um korrigierte Werte in korrigierten Aktivierungssignalen zu erzeugen; Aktivieren jedes Hochdruckmagnetventils mit den Nominalaktivierungssignalen und jedes Niederdruckmagnetventils mit den korrigierten Aktivierungssignalen; Überwachen der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und der in jedem Zylinder enthaltenen Restgasmenge; Vergleichen der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases für jeden Zylinder mit der entsprechenden Sollmenge der Ansaugluft und des Restgases; Ermitteln eines Korrekturinkrements für jeden Zylinder; und Modifizieren der Korrekturwerte in dem Korrekturspeicher des Bordrechners mit einem Korrekturinkrement.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine hydraulisch betriebene nockenlose Ventilsteuervorrich-

tung für mindestens ein Einlaß- und ein Auslaßventil in einem Zylinder innerhalb eines Verbrennungsmotors. Die Vorrichtung weist eine Hochdruckfluidquelle, eine Niederdruckfluidquelle und ein Zylinderkopfelement auf, das zur Befestigung an dem Motor ausgebildet ist und mindestens eine darin enthaltene Einlaßventilbohrung und -Kammer und mindestens eine Auslaßventilbohrung und -Kammer aufweist, wobei das Einlaß- und das Auslaßventil jeweils zwischen einer ersten und einer zweiten Position innerhalb der jeweiligen Zylinderkopfböhrungen und -Kammern verschiebbar sind. Das Einlaß- und Auslaßventil weisen jeweils einen damit verbundenen und verschiebbar innerhalb seiner jeweiligen Kammer untergebrachten Ventilkolben auf, welcher dadurch eine erste und eine zweite Hohlkammer bildet, die sich mit der Auslenkung verändert, wenn sich das jeweilige Einlaß- oder Auslaßventil bewegt. Das Zylinderkopfelement weist zwischen der ersten und zweiten Hohlkammer und der Hochdruckfluidquelle sich erstreckende Hochdruckkanäle, und zwischen den ersten Hohlkammern und der Niederdruckfluidquelle sich erstreckende Niederdruckkanäle auf. Das Einlaß- und Auslaßventil weisen jeweils ein Hochdruckventil und ein jeweils zugeordnetes Niederdruckventil auf, um den Fluidstrom in ihren jeweils ersten Hohlkammern zu regeln. Eine Steuereinrichtung arbeitet mit den Hochdruck- und Niederdruckventilen zusammen, um selektiv die ersten Hohlräume mit der Hochdruckquelle und der Niederdruckquelle zu verbinden, um die Einlaß- und Auslaßventile in zeitbezogener Relation zum Motorzustand hin und her zu bewegen. Eine erste Korrektureinrichtung arbeitet mit der Steuereinrichtung zusammen, um den Zeitpunkt der Verbindung des dem Einlaßventil zugeordneten ersten Hohlraums mit der Niederdruckquelle zu korrigieren, und eine zweite Korrektureinrichtung arbeitet mit der Steuereinrichtung zusammen, um den Zeitpunkt der Verbindung des dem Auslaßventil zugeordneten ersten Hohlraums mit der Niederdruckquelle zu korrigieren.

Somit wird ein nockenloser Motor mit einem elektrohydraulisch gesteuerten Ventilantrieb geschaffen, welcher das Motorverhalten unter verschiedenen Motorbetriebszuständen optimiert und gleichzeitig die Notwendigkeit einer Luftdrosselung und externen Abgasrückführung beseitigt, und welcher im wesentlichen ein identisches Verhalten der Einlaß- und Auslaßventile gewährleistet, um gleiche Ansaugluft- und Restgasmengen zwischen den Zylindern sicherzustellen.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung ist die Fähigkeit, einen nockenlosen Ventilantrieb zu betreiben, welcher den Kosten- und Gewichtsvorteil aufweist, der aus dem vollständigen Wegfall einer Nockenwelle sowie der Luftdrosselung und der externen Abgasrückführung EGR herrührt. Gleichzeitig wird das Motorverhalten bei verschiedenen Motorbetriebszuständen durch Bereitstellen einer adaptiven Steuerungsvorrichtung, welche die Streuungen zwischen den Ventilen in der Vorrichtung berücksichtigt, verbessert.

Ein weiterer Vorteil dieser adaptiven Steuerung besteht darin, daß sie die Einlaß- und Auslaßventile unter Verwendung nominaler Aktivierungswerte für den Zeitpunkt und die Einschaltdauer der Hochdruckmagnetventile und der Niederdruckmagnetventile geeignet aktivieren kann, wobei lediglich korrigierte Aktivierungswerte für den Zeitpunkt der dem Einlaßventil zugeordneten Niederdruckventilaktivierung benötigt werden, um die geeignete Verteilung der Ansaugluft über den Zylindern sicherzustellen, und lediglich korrigierte Akti-

vierungswerte für den Zeitpunkt der dem Auslaßventil zugeordneten Niederdruckventilaktivierung benötigt werden, um die geeignete Verteilung der Restgase über den Zylindern sicherzustellen.

Die Erfindung wird nachfolgend beispielhaft anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung, welche ein einzelnes hydraulisch gesteuertes Motorventil und eine Hydraulikanordnung zum Zuführen des Fluids zu der Ventilsteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 2A—2D optimale Hub- und Zeitdiagramme der Motorventile für verschiedene Motorbetriebszustände gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3A und 3B graphische Darstellungen eines Magnetventilhubes und eines entsprechenden Motorventilhubes bezogen auf einen Kurbelwellenwinkel gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 4 ein Flußdiagramm der zum Steuern des Zeitpunktes der das Öffnen und Schließen der Motorventile steuernden Magnetventile erforderlichen Schritte gemäß der vorliegenden Erfindung.

Nockenlose Motorventilantriebe erhöhen die Flexibilität sowohl in Bezug auf den Ventilzeitpunkt als auch auf den Ventilhub, auch im Vergleich zu elektrohydraulischen Leergang-Anordnungen (lost motion type), die im Vergleich zu herkömmlichen Nockenwellen aufweisenden Ventilantrieben eine etwas größere Flexibilität zulassen. Ein elektrohydraulischer nockenloser Ventilantrieb ist im Detail in der US-PS 52 55 641 dargestellt.

Fig. 1 stellt eine einzelne Motorventilanordnung 8 eines elektrohydraulisch gesteuerten Ventilantriebes dar. Ein Motorventil 10, je nach Fall für Ansaugluft oder Abgas, ist innerhalb eines Zylinderkopfes 12 angeordnet. Ein an der Spitze des Motorventils 10 befestigter Ventilkolben 26 ist innerhalb der Grenzen einer Kolbenkammer 30 verschiebbar.

Ein Fluid wird selektiv einem Volumen 25 oberhalb des Kolbens 26 aus einer Hochdruckölquelle 40 und einer Niederdruckölquelle 42 zugeführt, die hydraulisch über eine Hochdruckleitung 44 bzw. eine Niederdruckleitung 46 an einem Hochdruckanschluß 48 bzw. einem Niederdruckanschluß 50 angeschlossen sind.

Das Volumen 25 kann mit der Hochdruckölquelle 40 entweder über ein Magnetventil 64 oder ein Rückschlagventil 66, oder mit der Niederdruckölquelle 42 entweder über ein Magnetventil 68 oder ein Rückschlagventil 70 verbunden sein. Ein Volumen 27 unterhalb des Kolbens 26 ist stets mit der Hochdruckölquelle 40 verbunden. Ein Fluid-Rückführungsauslaß 72 stellt eine Einrichtung zur Rückführung von aus der Kolbenkammer 30 leckenden Fluids in einen (nicht dargestellten) Sumpf bereit. Das Hochdruckmagnetventil 64 und das Niederdruckmagnetventil 68 werden von Signalen aus einem Bordrechner 74 aktiviert und deaktiviert. Der Bordrechner 74 ist elektrisch mit einem Drehmomentbedarfssensor 54 und einem Motordrehzahl- und Kurbelwellenstellungssensor 56 verbunden. Er ist ebenfalls elektrisch mit Rückkopplungssensoren 58 zum Ermitteln der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases in jedem Motorzylinder verbunden.

Während des Öffnens des Motorventils öffnet das Hochdruckmagnetventil 64, und die auf den Kolben 26 wirkende Nettodruckkraft beschleunigt das Motorventil 10 nach unten. Wenn das Hochdruckmagnetventil 64 schließt, fällt der Druck über dem Kolben 26 ab und der Kolben 26 bremst ab, während er das Fluid aus dem Volumen 27 hinter sich in die Hochdruckölquelle 40

zurückdrückt. Das durch das Niederdruckmagnetventil 70 strömende Niederdruckfluid verhindert eine Hohlraumbildung im Volumen 25 während des Abbremsvorgangs. Wenn die Abwärtsbewegung des Motorventils 10 endet, schließt das Niederdruckrückschlagventil 70, und das Motorventil 10 bleibt in seiner offenen Stellung blockiert.

Der Vorgang des Ventilschließens ist im Prinzip dem des Ventilöffnens ähnlich. Das Niederdruckmagnetventil 68 öffnet, der Druck über dem Kolben 26 fällt ab, und die auf den Kolben 26 wirkende Nettodruckkraft beschleunigt das Motorventil 10 nach oben. Wenn das Niederdruckmagnetventil 68 schließt, steigt der Druck über dem Kolben 26 an, und der Kolben 26 bremst ab, während er das Fluid aus dem Volumen 25 durch das Hochdruckrückschlagventil 66 in die Hochdruckölquelle 40 zurückdrückt.

Die Fig. 3A und 3B stellen ferner die Beziehung zwischen einer Magnetventilaktivierung und einem Motorventilhub dar. Fig. 3A stellt ein Diagramm des Motorventilhubes 80 über dem Motorkurbelwellenwinkel dar und Fig. 3B stellt das entsprechende Diagramm, 82 bzw. 84, der Hoch- und Niederdruckmagnetventile über dem Motorkurbelwellenwinkel dar. Das Motorventilöffnen 86 wird von dem Hochdruckmagnetventil 64 (Fig. 1) gesteuert. Wenn das Hochdruckmagnetventil öffnet 92, bewirkt dieses den Beginn des Öffnens 86 des Motorventils. Wenn das Hochdruckmagnetventil schließt 94, bewirkt dieses das Abbremsen des Motorventils. Das Motorventil 10 bleibt dann in einer offenen Stellung 88. Das Öffnen 96 und das Schließen 98 des Niederdruckmagnetventils 68 steuert das Schließen 90 des Motorventils ähnlich wie das Öffnen des Motorventils.

Wie aus den Fig. 3A und 3B zu ersehen ist, wird der Zeitverlauf 90 des Motorventilschließens von dem Zeitverlauf 84 des Niederdruckmagnetventils bestimmt, welcher einem Magnetventil-Spannungsimpuls aus einem Bordrechner 74 (Fig. 1) entspricht, der das Niederdruckmagnetventil 68 aktiviert. Eine Variation des Aktivierungszeitpunktes des Hochdruckmagnetventils 64 und des Niederdruckmagnetventils 68 variiert dann den Zeitpunkt des Öffnens bzw. des Schließens des Motorventils. Der Betrag des Motorventilhubes wird durch die Variation der Dauer des Magnetventil-Spannungsimpulses an das Hochdruckmagnetventil 64 und das Niederdruckmagnetventil 68 gesteuert.

Mit der Fähigkeit, den Betrag und den Zeitpunkt des Öffnens und Schließens des Motorventils zu steuern, kann der Motorbetrieb für verschiedene Motorbetriebszustände optimiert werden. Fig. 2A bis 2D stellen vier Kreisdiagramme dar, welche die optimale Dauer und den optimalen Zeitpunkt der Einlaß- und Auslaßventilvorgänge für verschiedene Motorbetriebszustände darstellen. Die Flexibilität eines nockenlosen Ventilantriebes ermöglicht die Steuerung des Zeitpunktes und des Betrags des Ventilhubes, um die einzelnen optimalen Hubprogramme zu erzielen. Ein mechanisch mit Nockenventilen betriebener Ventilantrieb, mit oder ohne Leergang-Anordnung (lost motion system) könnte nicht all diese unterschiedlichen Hubprogramme durchführen.

Gemäß Darstellung in Fig. 2A ist es während eines Leerlaufzustandes des Motors erwünscht, eine kleine Überlappung zwischen den Offen-Zuständen des Einlaß- und Auslaßventils innerhalb eines vorgegebenen Zylinders zu haben, um den Restgasanteil zu minimieren. Das Öffnen 100 des Einlaßventils beginnt kurz vor dem oberen Totpunkt (TDC) 102 und das Schlie-

Ben 104 endet kurz nach dem oberen Kolbentotpunkt (TDC). Dieser Lufteinlaßvorgang 106 ist kurz, um auf diese Weise nur ein kleines Luftvolumen in den Zylinder gelangen zu lassen und somit die Notwendigkeit einer Luftdrosselung zu vermeiden. Der Auslaßvorgang 108 beginnt mit dem Öffnen 110 des Auslasses kurz vor dem unteren Totpunkt (BDC) 112 und schließt bei 114 kurz nach dem oberen Totpunkt (TDC) 102.

Fig. 2B stellt den gewünschten Motorventilzeitpunkt für ein optimales Motorverhalten in einem Zustand leichter Belastung dar. Die Zeitpunkte des Einlaßöffnens 100 und des Auslaßöffnens 110 sind dieselben wie im Motorleerlaufzustand. Das Auslaßventilschließen 144' ist jedoch verzögert, um die Ventilüberlappung zu erhöhen und somit die Restgasmenge zu erhöhen, was die Steuerung der Stickoxidemissionen unterstützt und somit die Notwendigkeit einer externen Abgasrückführung EGR erübrigt. Der Zeitpunkt des Einlaßventilschließens 104' ist ebenfalls so eingestellt, daß eine etwas größere Menge Ansaugluft in den Zylinder als im Leerlaufzustand gelangt. Da dieser Zustand nicht die maximale Ansaugluft benötigt, erübrigt die nockenlose Ventiltriebssteuerung das Erfordernis einer Luftdrosselung auch in diesem Betriebszustand. Hier stellen die bei den Zahlen verwendeten Strichsymbole einen unterschiedlichen Zeitpunkt des jeweils diskutierten Vorgangs im Vergleich zum Motorleerlaufzustand dar.

Gemäß Darstellung in Fig. 2C ist es während eines Motorzustandes mit hoher Belastung und niedriger Drehzahl erwünscht, eine weiter verringerte Ventilöffnungsüberlappung zu haben, indem das Schließen 114'' des Auslaßventils unmittelbar nach dem oberen Kolbentotpunkt (TDC) 102 erfolgt. Es ist ferner erwünscht, das Schließen 104'' des Einlaßventils nach dem unteren Kolbentotpunkt BCD 112 zu haben, um die in den Zylinder eingelassene Ansaugluft zu maximieren. Bei einem Motorzustand mit starker Belastung und hoher Drehzahl befindet sich gemäß Darstellung in Fig. 2D der Zeitpunkt des Einlaßventilschließens 104''' deutlich nach dem unteren Totpunkt BCD 112 und das Öffnen 110''' des Auslaßventils deutlich vor dem unteren Totpunkt BCD 112, um den Vorteil eines Ladeeffektes durch den Ansaugluftstaudruck zu nutzen.

Aus den Diagrammen in den Fig. 2A bis 2D wird deutlich, daß die Mengen der Ansaugluft und des Restgases in dem Zylinder durch Variation der entsprechenden Zeitpunkte des Schließens 104 bzw. 114 der Einlaß- und Auslaßventile gesteuert werden kann, um das Motorverhalten für verschiedene Zustände zu optimieren. Diese Zeitpunkte können durch Variieren der Zeitpunkte der entsprechenden Magnetventil-Spannungssignale gemäß Darstellung in den Fig. 3A und 3B erreicht werden. Somit sind nur die Zeitpunkte des Einlaß- und Auslaßventilschließens für die Mengenbestimmung der Ansaugluft und des Restgases in einem bestimmten Zylinder entscheidend.

Der Ablauf der adaptiven Steuerung der nockenlosen Ventilanordnung zum Steuern des Motorventiltriebs und zur Sicherstellung der Gleichmäßigkeit und Richtigkeit der Ansaugluft- und Restgasverteilung über die Zylinder kann detaillierter anhand eines Beispiels der Luftstrom- und Restgassteuerung für nur einen Motorzylinder erläutert werden und ist in Fig. 4 dargestellt, wobei Bezug auf Fig. 1 genommen wird. Ein erstes Grundsteuersignal ist ein Drehmomentbedarfssignal, welches von einem Drehmomentbedarfssensor 54 geliefert wird, der typischerweise eine Gaspedalstellung überwacht. Ein zweites Steuersignal ist eines, welches

der Motordrehzahl und der Kurbelwellenstellung entspricht, und von dem Motordrehzahl- und Kurbelwellenstellungssensor 56 geliefert wird, der typischerweise die Änderungsrate des Kurbelwellenwinkels mißt. Der Bordrechner 74 liest das Drehmomentbedarfssignal bei 130 und das Motordrehzahl- und Kurbelwellenstellungssignal bei 132 ein.

Der Speicher in dem Bordrechner 74 enthält Information für das optimale Motorverhalten auf der Basis der Steuersignale. Auf der Basis dieser Signale und unter Verwendung der in dem Speicher des Bordrechners 74 gespeicherten Information, ermittelt der Bordrechner 74 bei 134 die Sollmenge der Ansaugluft und des Restgases in jedem Zylinder für ein optimales Motorverhalten. Der Bordrechner 74 enthält auch eine Speichertabelle, in welcher für jeden Drehmomentwert und jede Motordrehzahl der Sollzeitpunkt, der Sollhub und die Solldauer des Einlaß- und Auslaßventilschließens spezifiziert sind. Diese Werte werden bei 136 in den nominalen Zeitpunkt und die nominale Dauer der elektrischen Impulssignale umgewandelt, die an die Hochdruckmagnetventile und Niederdruckmagnetventile 64 bzw. 68 gesendet werden, um diese zu aktivieren. Die für diese Umwandlung benötigte Information ist in einem Algorithmus enthalten, der in einer anderen Speichertabelle im Bordrechner 74 gespeichert ist.

Der Speicher, welcher die Information für das Timing des Niederdruckmagnetventils enthält, besteht aus zwei Teilen: Der erste ist, wie vorstehend beschrieben, ein Basis-Permanentspeicher, welcher die nominalen Impulszeitpunktdaten enthält, die jeweils einen empirisch ermittelten statistischen Mittelwert der Sollimpulszeit für den spezifischen Motor darstellen. Ein zweiter Teil ist ein Korrekturspeicher, welcher zu den Werten des Grund-Permanentspeichers zu addierende oder subtrahierende Impulszeitpunktinkremente enthält. Der Bordrechner 74 liest die Korrekturwerte für den Impulszeitpunkt des Niederdruckmagnetventils bei 138 ein. Die Anfangswerte in dem Korrekturspeicher bei einem neuem Motor sind gleich Null. Dieses gibt dem Motor die Möglichkeit, sich selbst von einem Ausgangspunkt ausgehend während des Betriebs zu kalibrieren und abzustimmen. Die Werte in dem Korrekturspeicher werden bei 140 auf die Nominalwerte addiert.

Die Zahlen in dem Korrekturspeicher können während des Motorbetriebs nach Bedarf geändert werden, um einen gleichmäßigen Ansaugluftstrom und Restgasgehalt über die Zylinder verteilt sicherzustellen. Es gibt in dem Bordrechner 74 noch einen getrennten Korrekturspeicher für jeden Motorzylinder, um Toleranzen zwischen den Ventilen, welche eine ungleichmäßige Verteilung der Ansaugluft und des Restgases zwischen den Zylindern bewirken, individuell zu korrigieren.

Die Anordnung liest bei 136 das Grund-Zeitpunktsignal aus dem Speicher aus, addiert dazu bei 140 das bei 138 aus dem Korrekturspeicher für den spezifischen Zylinder ausgelesene Korrektursignal und ermittelt somit den Zeitpunkt der Aktivierung des Niederdruckmagnetventils 68 für dieses Ventil, je nach Fall das Einlaß- oder Auslaßventil, bei diesen Betriebszuständen, um den Motorbetrieb zu optimieren. Die Werte der Impulsdauer für das Niederdruckmagnetventil und die Impulsdauer und der Zeitpunkt für das Hochdruckmagnetventil bleiben auf einem Nominalwert, da sie für die Bestimmung der Ansaugluft- und Restgas Mengen nicht benötigt werden. Die nominalen und korrigierten Signale werden von dem Bordrechner 74 bei 142 an die Hochdruck- und Niederdruckmagnetventile 64 und 68 gesen-

det, um sie zu aktivieren, was wiederum je nach Fall das Einlaß- oder Auslaßventil 10 aktiviert. Die Anordnung enthält auch einen Satz von Sensoren, welche Informationen liefern, die es der Motorsteuereinrichtung ermöglichen, die tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases in jedem Zylinder während jedes Zyklusses bei 144 einzulesen und zu ermitteln.

Die Berechnung der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und der Restgase in jedem Zylinder kann auf vielfältige Art ausgeführt werden. Beispielsweise können die Ansaugluftmengen durch in den einzelnen Einlaßkanälen eingebaute Luftmassenstromsensoren gemessen werden. Ein weiteres Verfahren könnte die Berechnung der Luftmengen aus den Werten der Luft/Kraftstoff-Verhältnisse beinhalten, die unter Verwendung von in den einzelnen Abgaskanälen eingebauten Sauerstoffsensoren gemessen werden. Alternativ könnte ein einzelner Luftmassenstromsensor in dem Ansaugluftstrom und/oder ein einzelner Sauerstoffsensor in dem Abgasstrom auf einer zeitauflösenden Basis zum Berechnen der einzelnen Ansaugluftwerte in jedem Zylinder verwendet werden. Mit bekannter Luftmenge kann der Restgasanteil durch Messen des Drucks und der Temperatur bei einer spezifischen Kolbenbezugsstellung, wie z. B. am unteren Kolbentotpunkt, ermittelt werden.

Der Bordrechner 74 vergleicht bei 146 die tatsächlichen Mengen der in jeden Zylinder eingesaugten Ansaugluft und des Restgases mit den Sollwerten, um den Betrag des Fehlers der Anordnung zu ermitteln, und um bei 148 getrennte Korrekturinkremente für den Zeitpunkt des Niederdruckmagnetventils in jedem Zylinder zu ermitteln. Eine Abweichung in der Menge der Ansaugluft in dem speziellen Zylinder erfordert eine Korrektur des Zeitpunktes des dem Einlaßventil in diesem Zylinder zugeordneten Niederdruckmagnetventils, während eine Abweichung in dem Restgas dieses Zylinders eine Korrektur des Zeitpunktes des dem Auslaßventil in diesem Zylinder zugeordneten Niederdruckmagnetventils erfordert. Immer dann, wenn eine Diskrepanz auftritt, wird bei 150 der Korrekturspeicher in dem Bordrechner 74 für diesen Zylinder bei der gegebenen Drehmoment/Drehzahl-Kombination modifiziert, bis nach einigen Zyklen die tatsächlichen Mengen bei diesem Drehmoment und dieser Drehzahl im wesentlichen mit den Sollwerten übereinstimmen. Die Größe des Korrekturinkrements ist direkt proportional zu der Abweichung der Anordnung und umgekehrt proportional zu der Motordrehzahl. Demzufolge wird der Zeitpunkt des Magnetventils verzögert und die Menge vergrößert, wenn die Abweichung der Anordnung positiv ist. Umgekehrt wird der Zeitpunkt des Magnetventils vorverlegt und die Menge verringert, wenn die Abweichung negativ ist.

Unabhängig von allen Anfangsdiskrepanzen zwischen den tatsächlichen und den Sollwerten der Ansaugluft und des Restgases füllt der Bordrechner 74 eines laufenden Motors schnell seinen Korrekturspeicher mit Daten auf, welche eine geeignete Zusammensetzung der Ladung in jedem Motorzylinder bei allen Motordrehzahlen und Belastungen sicherstellt. Darüber hinaus setzt die Anordnung die Überwachung des Motorbetriebes fort und führt Korrekturen in regelmäßigen Intervallen aus, um Änderungen in den Betriebsfluideigenschaften, sowie jede plötzliche oder allmähliche Veränderung in dem Magnetventilverhalten zu kompensieren, um somit die optimalen und im wesentlichen gleichmäßigen Ansaugluft- und Restgasmengen zwischen al-

len Zylindern unter allen Betriebszuständen sicherzustellen.

In einer alternativen Ausführungsform wird eine Folgekraftstoffeinspritzung ebenfalls von dem Bordrechner 74 in ähnlicher Steuerungsform wie die Magnetventile gesteuert, mit der Ausnahme, daß die gesteuerte Variable die Kraftstoffeinspritzimpulsdauer anstelle der Magnetventilimpulsdauer ist. Die erforderlichen nominalen Kraftstoffmengen werden durch Korrelation von Sensorinformationen mit in einem Speicher des Bordrechners 74 gespeicherten Werten ermittelt. Die tatsächlichen Kraftstoffmengen werden aus den Werten der von in den einzelnen Abgaskanälen eingebauten Sauerstoffsensoren gemessenen Luft/Kraftstoff-Verhältnisse, oder durch Messen der von den einzelnen Zylindern erzeugten Beschleunigungsimpulse eines Motorschwungrades berechnet. Die Korrekturwerte werden dann ermittelt und dazu verwendet, einen getrennten Korrekturspeicher auf Werte einzustellen, welche zu den Nominalwerten addiert werden, um den für jeden einzelnen Zylinder erforderlichen individuellen Kraftstoffeinpritzimpuls zu ermitteln.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum individuellen Steuern des Öffnens und Schließens der Motorventile in einem Mehrzylinder-Verbrennungsmotor mit einem nockenlosen Ventilantrieb mit variablen Ventilbetätigungsvorgängen, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren die Schritte aufweist:

Erfassen einer Kurbelwellendrehwinkelstellung, der Drehzahl des Motors und eines Motordrehmomentbedarfs und Erzeugen eines entsprechenden Stellungs- und Drehzahlsignals und eines entsprechenden Drehmomentbedarfssignals;

Einlesen des Stellungs- und Drehzahlsignals und des Drehmomentbedarfssignals in einen Bordrechner;

Ermitteln einer Sollmenge der Ansaugluft und des Restgases für jeden Zylinder;

Jeweils für jeden Zylinder: Ermitteln eines entsprechenden Nominalwertes für den Zeitpunkt und die Dauer eines Aktivierungssignals, das an jedes von mehreren Hochdruck- und Niederdruckmagnetventilen zu senden ist;

Einlesen von Korrekturwerten für den Zeitpunkt des Aktivierungssignals für jedes Niederdruckmagnetventil aus einem Korrekturspeicher des Bordrechners;

Addieren der Korrekturwerte zu den Nominalwerten des Zeitpunktes für jedes Niederdruckmagnetventil, um korrigierte Werte in korrigierten Aktivierungssignalen zu erzeugen;

Aktivieren jedes Hochdruckmagnetventils mit den Nominalaktivierungssignalen und jedes Niederdruckmagnetventils mit den korrigierten Aktivierungssignalen;

Überwachen der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des in jedem Zylinder enthaltenen Restgases;

Vergleichen der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases für jeden Zylinder mit der entsprechenden Sollmenge der Ansaugluft und des Restgases;

Ermitteln von Korrekturinkrementen für jeden Zylinder; und

Modifizieren der Korrekturwerte in dem Korrek-

turspeicher des Bordrechners mit den Korrekturinkrementen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Überwachung der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases aufweist:

Erfassen eines Massenluftstroms der Ansaugluftmengen innerhalb einzelner Einlaßkanäle;

Messen eines Druckes und einer Temperatur in jedem Zylinder an einer spezifischen Kolbenbezugsstellung; und

Berechnen der Restgasmengen in jedem Zylinder.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Überwachung der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases aufweist:

Erfassen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses in einzelnen Abgaskanälen mit in den Abgaskanälen angeordneten Sauerstoffsensoren;

Berechnen der Ansaugluftmenge in jedem Zylinder;

Messen eines Druckes und einer Temperatur in jedem Zylinder an einer spezifischen Kolbenbezugsstellung; und

Berechnen der Restgasmenge in jedem Zylinder.

4. Hydraulisch betriebene nockenlose Ventilsteuervorrichtung für mindestens ein Einlaß- und ein Auslaßventil in einem Zylinder eines Verbrennungsmotors, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung aufweist:

eine Hochdruckfluidquelle (40) und eine Niederdruckfluidquelle (42);

ein Zylinderkopfelement, das zur Befestigung an dem Motor angepaßt ist und, mindestens eine darin enthaltene Einlaßventilbohrung und -Kammer und mindestens eine Auslaßventilbohrung und -Kammer aufweist, wobei das Einlaß- und das Auslaßventil jeweils zwischen einer ersten und einer zweiten Position innerhalb ihrer jeweiligen Zylinderkopfböhrungen und Kammern verschiebbar sind; wobei:

das Einlaß- und Auslaßventil jeweils einen damit verbundenen und verschiebbar innerhalb seiner Kammer untergebrachten Ventilkolben (26) aufweisen, wovon jeder dadurch eine erste und eine zweite Hohlkammer bildet, die sich mit der Auslenkung verändert, wenn sich das jeweilige Einlaß- oder Auslaßventil bewegt;

das Zylinderkopfelement zwischen den ersten und zweiten Hohlkammern und der Hochdruckfluidquelle (40) sich erstreckende Hochdruckfluidkanäle (44), und zwischen den ersten Hohlkammern und der Niederdruckfluidquelle sich erstreckende Niederdruckkanäle (46) aufweist;

das Einlaß- und Auslaßventil jeweils ein zugeordnetes Hochdruckventil (64) und ein zugeordnetes Niederdruckventil (68) zum Regel des Fluidstroms in ihren jeweils ersten Hohlkammern aufweist;

eine Steuereinrichtung (74) mit den Hochdruck- und Niederdruckventilen zusammenarbeitet, um selektiv die ersten Hohlräume mit der Hochdruckquelle und der Niederdruckquelle zu verbinden, um die Einlaß- und Auslaßventile in zeitbezogener Relation zum Motorzustand hin und her zu bewegen;

eine erste Korrektureinrichtung mit der Steuereinrichtung zusammenarbeitet, um den Zeitpunkt der Verbindung des dem Einlaßventil zugeordneten ersten Hohlraums mit der Niederdruckquelle zu kor-

rigieren; und

eine zweite Korrektureinrichtung mit der Steuereinrichtung zusammenarbeitet, um den Zeitpunkt der Verbindung des dem Auslaßventil zugeordneten ersten Hohlraums mit der Niederdruckquelle zu korrigieren.

5. Nockenlose Ventilsteuervorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Rückkopplungssensoreinrichtung (58) aufweist, um zu ermitteln, ob die Einlaß- und Auslaßventile in richtiger zeitlicher Zuordnung zum Motorbetrieb in der Weise arbeiten, daß jedem Motorzylinder geeignete Mengen der Ansaugluft und des Restgases zugeführt bzw. aus diesem abgeführt werden.

6. Hydraulisch betriebene nockenlose Ventilsteuervorrichtung zum individuellen variablen Steuern von Motorhubventilen in einem Mehrzylinder-Verbrennungsmotor, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung aufweist:

eine Erfassungseinrichtung zum Erfassen einer Kurbelwellendrehwinkelstellung und Drehzahl des Motors und eines Motordrehmomentbedarfs und zum Erzeugen eines entsprechenden Stellungs- und Drehzahlsignals und eines entsprechenden Drehmomentbedarfssignals;

eine Einrichtung zum Einlesen des Stellungs- und Drehzahlsignals und des Drehmomentbedarfssignals in einen Bordrechner;

eine Einrichtung zum Ermitteln einer Sollmenge der Ansaugluft und des Restgases für jeden Zylinder;

eine jedem Zylinder zugeordnete Einrichtung zum Ermitteln eines entsprechenden Nominalwertes für den Zeitpunkt und die Dauer eines entsprechenden Aktivierungssignals, das an jedes von mehreren Hochdruck- und Niederdruckmagnetventilen zu senden ist;

eine Einrichtung zum Einlesen von Korrekturwerten für den Zeitpunkt des Aktivierungssignals für jedes Niederdruckmagnetventil aus einem Korrekturspeicher des Bordrechners;

eine Einrichtung zum Addieren der Korrekturwerte zu den Nominalwerten des Zeitpunktes für jedes Niederdruckmagnetventil, um korrigierte Werte in korrigierten Aktivierungssignalen zu erzeugen;

eine Einrichtung zum Aktivieren jedes Hochdruckmagnetventils mit den Nominalaktivierungssignalen und jedes Niederdruckmagnetventils mit den korrigierten Aktivierungssignalen;

eine Einrichtung zum Überwachen der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des in jedem Zylinder enthaltenen Restgases;

eine Einrichtung zum Vergleichen der tatsächlichen Mengen der Ansaugluft und des Restgases für jeden Zylinder mit der entsprechenden Sollmenge der Ansaugluft und des Restgases;

eine Einrichtung zum Ermitteln von Korrekturinkrementen für jeden Zylinder; und

eine Einrichtung zum Modifizieren der Korrekturwerte in dem Korrekturspeicher des Bordrechners mit den Korrekturinkrementen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

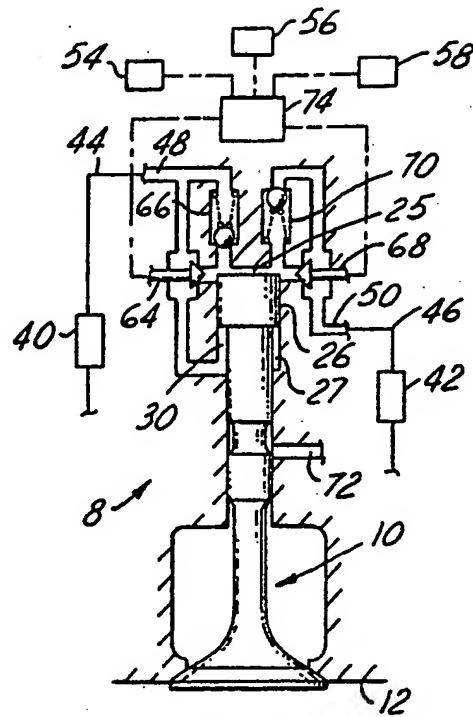


FIG. 1

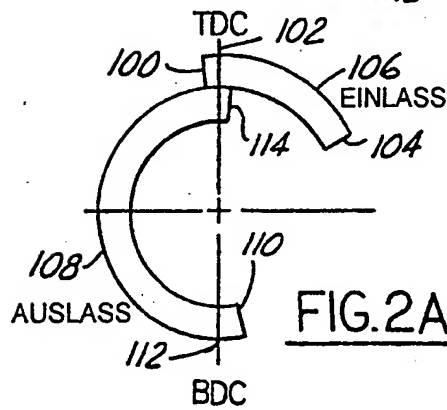


FIG. 2A

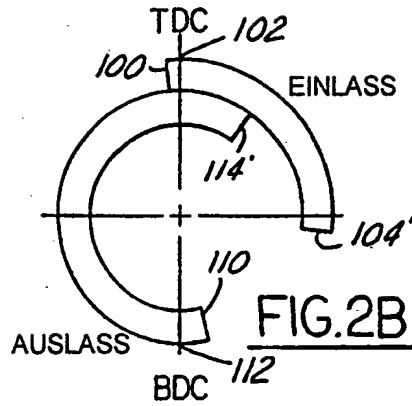


FIG. 2B

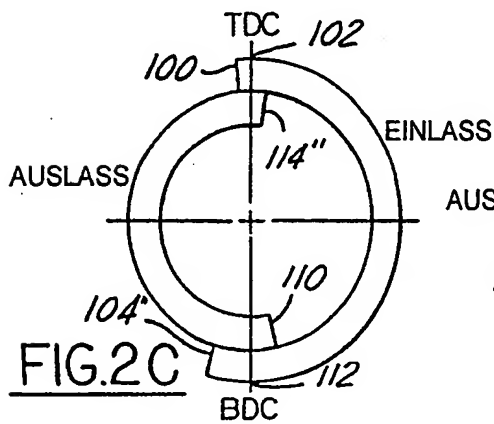


FIG. 2C

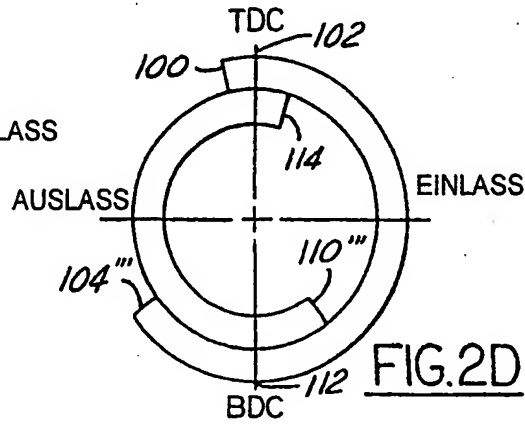


FIG. 2D

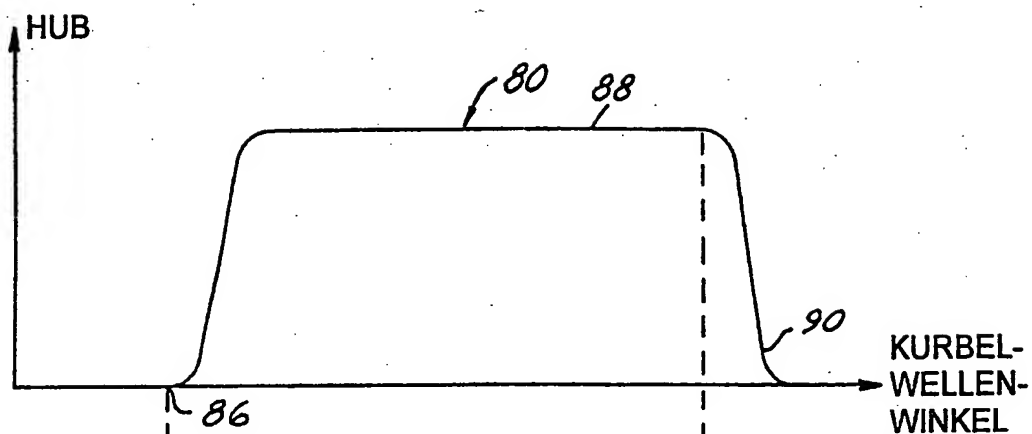


FIG. 3A

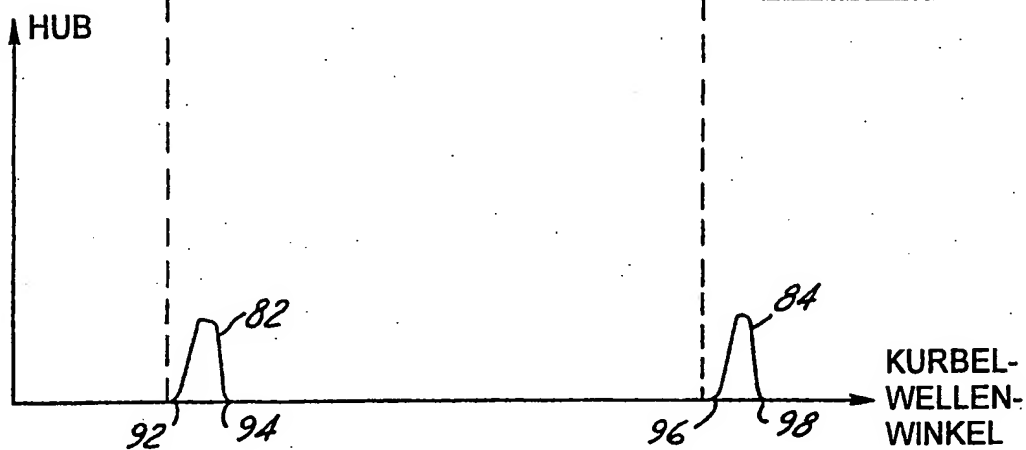


FIG. 3B

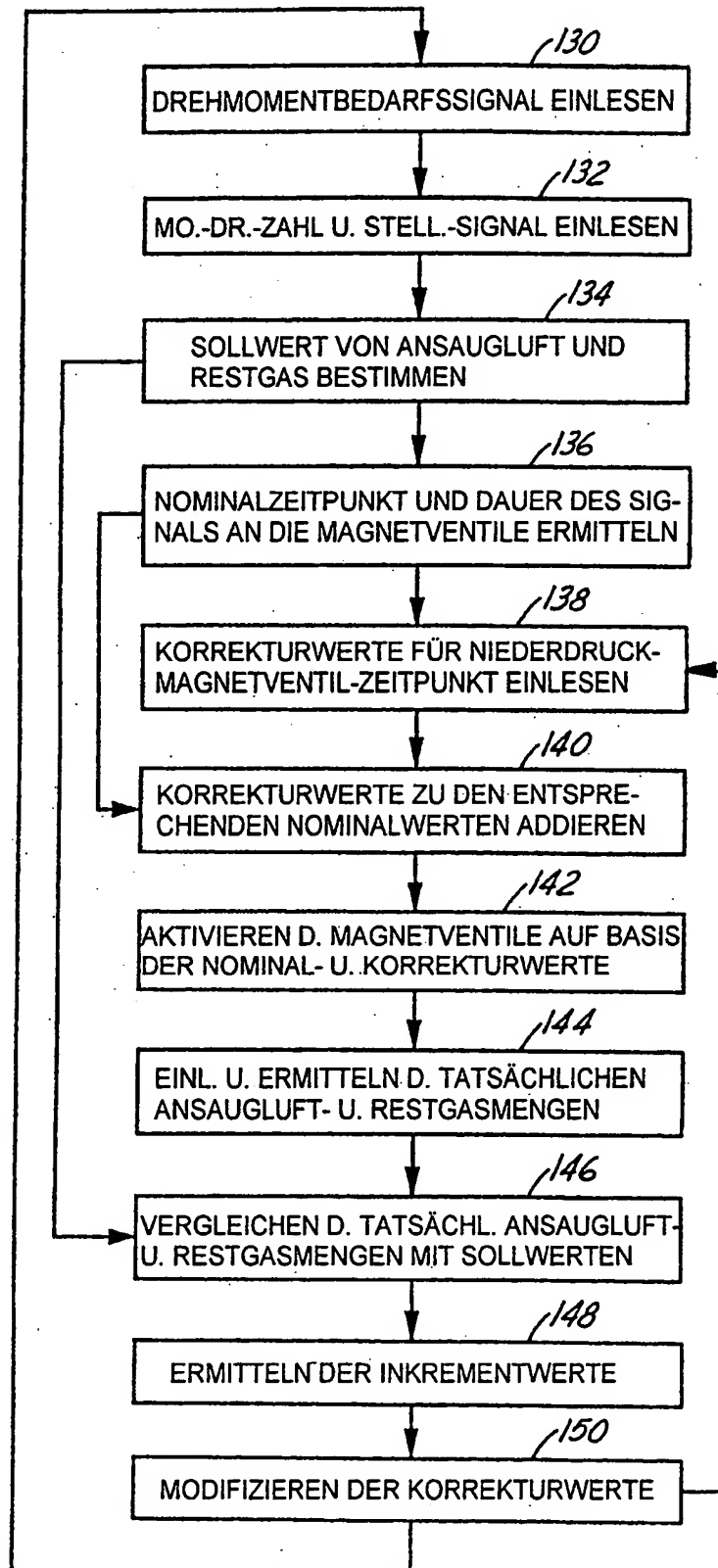


FIG. 4